

## Методы выделения признаков двумерных спектров нестационарных биомедицинских сигналов

*Боснякова Д. Ю., Морозов А. А., Кузнецова Г. Д.,  
Обухов Ю. В.*

obukhov@cplire.ru

Москва, ИРЭ РАН, ИВНД РАН

В биологических исследованиях и медицинской диагностике широко применяются многоканальные приборы, измеряющие различные физические величины на поверхности и в глубине тела. Характерными примерами таких обследований являются электроэнцефалография (ЭЭГ, измерения электрических потенциалов на скальпе и внутри мозга) и магнитная энцефалография (пассивные измерения магнитного поля вокруг головы). Число каналов в таких исследованиях составляет от нескольких десятков до нескольких сотен. Целями анализа результатов таких исследований являются выяснение временной динамики сигналов в различных каналах, установление связи между пространственно разнесёнными участками мозга, источников генерации сигналов, изменения сигналов при физиологических и фармакологических воздействиях на объект, и т. п.

Особенностями такого рода сигналов являются существенная их нестационарность, зашумлённость и присутствие артефактов. Обработке и анализу таких сигналов посвящено большое количество работ, в основе которых лежат спектрально-корреляционные методы и методы нелинейных динамических систем [1]. Основным недостатком этих подходов является их слабая приспособленность к анализу нестационарности сигналов; как правило, в них сигнал разбивается на квазистационарные участки, внутри которых эти методы применимы. Исключением являются оконные преобразования и вейвлет-анализ, в котором частотно-временная плоскость разбивается на предельно малые участки, размеры которых ограничиваются фундаментальным соотношением неопределённости [2]. Используя такие представления сигналов, можно попытаться выделить именно нестационарные характеристики исследуемого объекта. Это и является предметом наших исследований.

Основная идея нашего подхода заключается в следующем. С помощью вейвлет-преобразований и скользящих оконных корреляций мы получаем двумерное изображение каждого сигнала, заданное на плоскости частота-время. В этом изображении присутствуют объекты и структуры, порождённые различными физиологическими процессами. Выделив эти объекты и структуры, мы можем вычислить характеристики нестационарных процессов.

В настоящей работе представлены разработанные нами методы и результаты выделения хребтов изображений двумерных спектрограмм ЭЭГ, которые отображают доминирующие процессы. Они экспериментально проверялись на примере анализа ЭЭГ животных и людей с абсансной эпилепсией. Выбор данного заболевания обусловлен как его социальной значимостью, так и тем, что при абсансной эпилепсии происходит существенная синхронизация электрической активности мозга, и выявление пространственно-временных связей участков мозга чрезвычайно актуально.

### **Выделение хребтов вейвлет-спектров**

Вейвлет-спектры Морле ЭЭГ эпилептического разряда пик-волна (называемые SWD-разрядами) содержат систему ярко выраженных пиков. Точки хребта приближённо соответствуют точкам, где  $\partial\varphi/\partial t = \text{const}$ , где  $\varphi$  — комплексная фаза сигнала [2]. Однако, дифференцирование фазы слабого зашумлённого сигнала является некорректно поставленной задачей. Для её решения мы разработали вейвлет, парный к вейвлету Морле, который зануляет амплитуды спектрограмм в точках хребта, т. е. проецирует хребет на плоскость частота-время.

Трассируя спектрограмму с помощью круга с задаваемым радиусом, можно получить зависимость частоты от времени в точках хребта (траверс хребта). Траверсы хребтов являются характеристиками нестационарности SWD-разряда при абсансной эпилепсии.

### **Обработка ЭЭГ-сигналов при абсансной эпилепсии**

Обработка ЭЭГ-сигналов модельных животных и людей с абсансной эпилепсией показала, что траверс хребта отличается в разных участках мозга, что даёт информацию о месте возникновения эпилептического разряда. Сравнение траверсов сигналов в разных каналах позволяет оценить корреляцию между сигналами различных участков мозга. Он чувствителен к фармакологическим препаратам [3]. Оказалось также, что форма траверса у модельных животных и у людей с абсансной эпилепсией имеют одинаковую форму, но траверсы разнесены по частоте. Таким образом, разработанный подход позволяет выделить нестационарные пространственно-временные признаки сигналов многоканальных ЭЭГ при абсансной эпилепсии.

Недостатком разработанного метода является необходимость вручную задавать начальную и конечную точки траверса хребта. В случае фазовых сбоев, например, при смене типа разряда, это может представлять определённые неудобства. Для нахождения таких точек и участков спектрограмм, а также для анализа корреляционных свойств сигналов ЭЭГ при абсансной эпилепсии нами также разрабатывается подход, ос-

нованный на многомасштабном динамическом анализе корреляционного типа [4]. Другим недостатком является его невысокая эффективность при анализе вызванных различными стимулами электрических потенциалов мозга. Для таких коротких событий мы разрабатываем методы непараметрического многофакторного анализа [5, 6], в частности для анализа реакции мозга на зрительные стимулы [7]. Эти подходы описаны в отдельных публикациях данной конференции.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проекты № 05-01-00651 и № 06-07-89302, а также программы Президиума РАН «Фундаментальные науки — медицине».

### Литература

- [1] *Bin He (ed.) Neural Engineering.* — New York: Kluwer, 2005.
- [2] *Малла С.* Вейвлеты в обработке сигналов. — Москва: Мир, 2005.
- [3] *Bosnyakova D., Gabova A., Kuznetsova G., Obukhov Yu, et al.* Time-frequency analysis of spike-wave discharges using a modified wavelet transform // *J. Neuroscience Methods.* — 2006. — Vol. 154, June, № 1-2. — pp. 80–88.
- [4] *Анциперов В. Е., Морозов В. А., Морозов А. А., Обухов Ю. В.* Адаптивный метод на основе коротких кросскорреляционных функций для обработки сигналов биологической природы // 7 межд. научно-техн. конф. «Искусственный интеллект. Интеллектуальные и многопроцессорные системы» (ИИ-ИМС'2006), Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2006. — Т. 3. — С. 162–165.
- [5] *Морозов А. А., Морозов В. А., Обухов Ю. В., Строганова Т. А.* Метод многофакторного анализа электроэнцефалограмм человека на основе вейвлет-спектрографии и непараметрической статистики // Доклады VII межд. научно-техн. конф. «Физика и радиоэлектроника в медицине и экологии» (ФРЭМЭ'2006), Владимир: Изд-во «Собор», 2006. — Книга 1. — С. 145–147.
- [6] *Морозов А. А., Морозов В. А., Обухов Ю. В., Строганова Т. А.* Непараметрический метод многомерного многофакторного анализа электроэнцефалограмм человека // Искусственный интеллект. — 2006. — № 3. — pp. 603–612.
- [7] *Stroganova T. A., Orekhova E. V., Prokofyev A. O., Posikera I. N., Morozov A. A., Obukhov Y. V., Morozov V. A.* Atypical event-related potentials response to illusory contour in boys with autism // *NeuroReport.* — 2007. — Vol. 18, № 9. — pp. 931–935.